

■キーワード

メタマテリアル 非相反 アイソレーター 磁性 光学活性

■研究の概要

電磁メタマテリアルとは、波長よりも十分小さな微細構造を組み合わせた人工構造体です。このような構造体を用いることで、自然には存在しない特異な電磁応答を実現することができます。ここで、特異な電磁応答とは、例えば「負の屈折率」や「隠れ蓑(クローキング)」などの現象を指します。このようなメタマテリアルに磁性体を組み込むことで時間反転対称性を破り、同時に微細構造の幾何学的形状の空間反転対称性を破ると、電気磁気光学効果や磁気カイラル効果と呼ばれる特殊な電磁現象を実現することができます。これらの現象を用いると、電磁波の入射方向によって入射波の透過率を制御することができます(非相反性)。

更に、透過率は入射波の偏波状態に依存せずに制御することができます。本研究では、このようなメタマテリアルの時空間制御を通じて電磁波の伝搬制御を行い、超微細なアイソレーターなどの応用を目指しています。加えて、熱輻射を担う赤外線に応用することで、一方向だけに熱を通すスマートウィンドウなどの高機能光学素子も研究しています。

■研究・技術のプロセス／研究事例

図1に示すのは、紫外線(UV)領域で動作するように設計した非相反メタマテリアルです。中心には磁性体の球があり、その周囲を金属棒が覆っています。磁性体は電磁波の入射方向に沿って磁化しており、この金属棒を空間反転対称性が破れるように配置していることがポイントです。今の場合、空間反転対称性の破れとは、右手と左手の関係のように自身を鏡に映した場合にだけ重なる関係を持っていることに該当します。このメタマテリアルに対して表と裏から光を入射し、その透過率の強度差および位相差をプロットしたのが図2になります。波長240nm近傍で強度差が最大となっていることが分かりますが、この波長における電場の空間分布を表示したのが図3です。Whispering gallery modeと呼ばれる球の縁を周回する共振モードが存在しており、その共振状態が入射波の方向によって異なることで非相反性が生じていることが分かります。金属棒の右手と左手の対称性を反転させたり、消失させたりすることによって、非相反性の制御をすることができます(図4)。このように、微細構造を緻密に組み合わせることによって特異な機能を持つ素子を創り出すことができます。

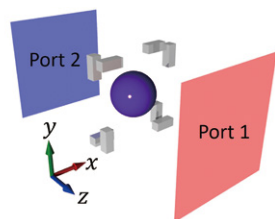


図1. 非相反メタマテリアルの模式図。

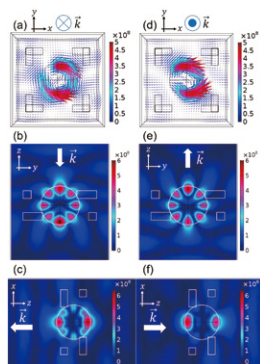


図3. 共振状態における電場分布。
ベクトル k の向きが入射波の向きを示す。

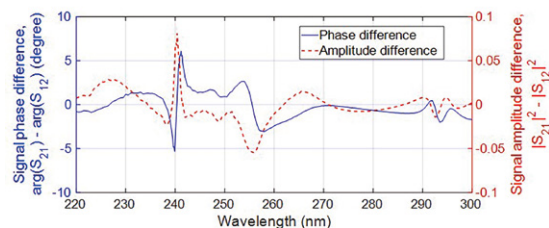


図2. 透過率の差分スペクトル。左および右軸がそれぞれ位相および強度差を示す。

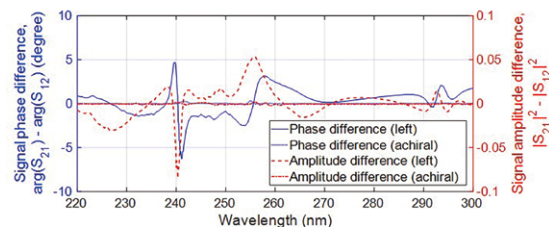


図4. 金属棒の配置による非相反性の制御。金属棒の空間配置の対称性を反転させると非相反性が反転し、対称性を消失させると非相反性も消失する。

■セールスポイント

個々の微細構造の機能の組み合わせによって新しい機能を創発するのがメタマテリアルの特徴です。自然には存在しない高機能をサブ波長程度の厚みの素子で実現可能になります。

高機能素子を極薄領域で実現する メタマテリアルによる電磁波の一方向伝搬制御